

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 1/16		8505-2 F		
5/16		8505-2 F		
9/08		9009-2 F		
G 0 1 P 15/09		8708-2 F		

審査請求 未請求 請求項の数16(全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平3-203876

(22) 出願日 平成3年(1991)7月17日

(71) 出願人 000122863

岡田 和廣

埼玉県上尾市菅谷4丁目73番地

(72) 発明者 岡田 和廣

埼玉県上尾市菅谷四丁目73番地

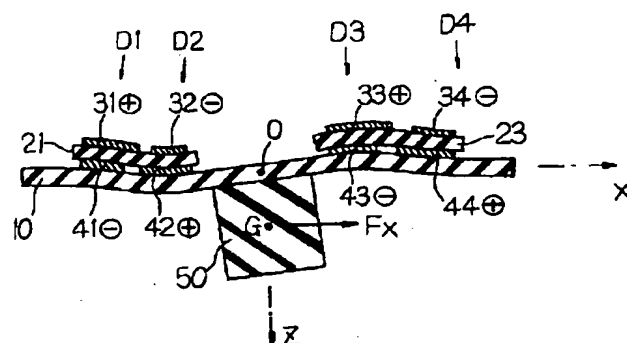
(74) 代理人 弁理士 志村 浩

(54) 【発明の名称】 圧電素子を用いた力・加速度・磁気のセンサ

(57) 【要約】

【目的】 温度補償なしに高精度な検出が可能であり、しかも製造プロセスが容易な力、加速度、磁気のセンサを提供する。

【構成】 可撓性をもった円盤状の基板10の周囲部分にはセンサ筐体に固定され、中心部分には作用体50が接合される。基板10内の原点Oについて、XYZ三次元座標系を定義し、X軸に沿って、4組の検出子D1～D4が配置される。各検出子は圧電素子21、23を上部電極31～34と下部電極41～44とで挟んだサンドイッチ構造をしている。加速度の作用により、作用体50にX軸方向の力F_xが作用すると、基板10が撓み、各電極に正または負の電荷が発生する。電荷の発生態様は、作用した力の方向に依存し、電荷の発生量は、作用した力の大きさに依存する。よって、この電荷発生パターンに基づいて、作用した力の各軸方向成分を検出できる。



BEST AVAILABLE COPY

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を定義し、前記4組の検出子のうちの2組をX軸の正の側に、他の2組を負の側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

前記作用体に発生した力を、前記4組の検出子の各電極に発生する電荷に基づいて検出するようにしたことを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項2】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を定義し、前記4組の検出子のうちの2組をX軸の正の側に、他の2組を負の側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板の原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

前記作用体に発生した力を、前記4組の検出子の各電極に発生する電荷に基づいて検出するようにしたことを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項3】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、前記4組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、

2

前記第1の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第1の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

10 【請求項4】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、前記4組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、

前記第1の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第1の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項5】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を8組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、

前記8組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿

3

って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記8組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、

前記第1の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、
前記第5の検出子における電位と前記第7の検出子における電位との和と、前記第6の検出子における電位と前記第8の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、
前記第1の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、の差に基づいて、あるいは、前記第5の検出子における電位と前記第8の検出子における電位との和と、前記第6の検出子における電位と前記第7の検出子における電位との和と、の差に基づいて、または、前記第1の検出子における電位、前記第4の検出子における電位、前記第5の検出子における電位、および前記第8の検出子における電位の総和と、前記第2の検出子における電位、前記第3の検出子における電位、前記第6の検出子における電位、および前記第7の検出子における電位の総和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項6】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を8組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、

前記8組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

4

前記8組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、

前記第1の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、
前記第5の検出子における電位と前記第7の検出子における電位との和と、前記第6の検出子における電位と前記第8の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、
前記第1の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、の差に基づいて、あるいは、前記第5の検出子における電位と前記第8の検出子における電位との和と、前記第6の検出子における電位と前記第7の検出子における電位との和と、の差に基づいて、または、前記第1の検出子における電位、前記第4の検出子における電位、前記第5の検出子における電位、および前記第8の検出子における電位の総和と、前記第2の検出子における電位、前記第3の検出子における電位、前記第6の検出子における電位、および前記第7の検出子における電位の総和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項7】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を12組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、原点においてX、Y、Zの各軸と交わりかつ基板面に平行な方向にW軸を、それぞれ定義し、

前記1-2組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

5

前記12組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第9の検出子をW軸の負領域の基板外側に、第10の検出子をW軸の負領域の基板内側に、第11の検出子をW軸の正領域の基板内側に、第12の検出子をW軸の正領域の基板外側に、それぞれW軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、

前記第1の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第5の検出子における電位と前記第7の検出子における電位との和と、前記第6の検出子における電位と前記第8の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、前記第9の検出子における電位と前記第11の検出子における電位との和と、

前記第10の検出子における電位と前記第12の検出子における電位との和と、

の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項8】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を12組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、原点においてX、Y、Zの各軸と交わりかつ基板面に平行な方向にW軸を、それぞれ定義し、

前記12組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内

6

側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第9の検出子をW軸の負領域の基板外側に、第10の検出子をW軸の負領域の基板内側に、第11の検出子をW軸の正領域の基板内側に、第12の検出子をW軸の正領域の基板外側に、それぞれW軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、

前記第1の検出子における電位と前記第3の検出子における電位との和と、前記第2の検出子における電位と前記第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第5の検出子における電位と前記第7の検出子における電位との和と、前記第6の検出子における電位と前記第8の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、前記第9の検出子における電位と前記第11の検出子における電位との和と、前記第10の検出子における電位と前記第12の検出子における電位との和と、の差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項9】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、前記4組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極を第1の電極、もう一方の電極を第2の電極、とそれぞれ定義し、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記

第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第1の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第2の検出端子と、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第3の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第4の検出端子と、

を設け、前記第1の検出端子と前記第2の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第3の検出端子と前記第4の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項10】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、前記4組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極を第1の電極、もう一方の電極を第2の電極、とそれぞれ定義し、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第1の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第2の検出端子と、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記

第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第3の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第4の検出端子と、

を設け、前記第1の検出端子と前記第2の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第3の検出端子と前記第4の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項11】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を8組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、前記8組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記8組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極を第1の電極、もう一方の電極を第2の電極、とそれぞれ定義し、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第1の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第2の検出端子と、

前記第5の検出子の第1の電極と、前記第6の検出子の第2の電極と、前記第7の検出子の第1の電極と、前記第8の検出子の第2の電極と、に接続しうる第3の検出端子と、

前記第5の検出子の第2の電極と、前記第6の検出子の第1の電極と、前記第7の検出子の第2の電極と、前記第8の検出子の第1の電極と、に接続しうる第4の検出端子と、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第5の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第6の検出端子と、

を設け、前記第1の検出端子と前記第2の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第3の検出端子と前記第4の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、前記第5の検出端子と前記第6の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項12】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を8組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、

前記8組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記8組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極を第1の電極、もう一方の電極を第2の電極、とそれぞれ定義し、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記

第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第1の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第2の検出端子と、

前記第5の検出子の第1の電極と、前記第6の検出子の第2の電極と、前記第7の検出子の第1の電極と、前記第8の検出子の第2の電極と、に接続しうる第3の検出端子と、

前記第5の検出子の第2の電極と、前記第6の検出子の第1の電極と、前記第7の検出子の第2の電極と、前記第8の検出子の第1の電極と、に接続しうる第4の検出端子と、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第5の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第6の検出端子と、

を設け、前記第1の検出端子と前記第2の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第3の検出端子と前記第4の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、前記第5の検出端子と前記第6の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項13】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を12組用意し、

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、原点においてX、Y、Zの各軸と交わりかつ基板面に平行な方向にW軸を、それぞれ定義し、

前記12組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に

11

沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第9の検出子をW軸の負領域の基板外側に、第10の検出子をW軸の負領域の基板内側に、第11の検出子をW軸の正領域の基板内側に、第12の検出子をW軸の正領域の基板外側に、それぞれW軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極を第1の電極、もう一方の電極を第2の電極、とそれぞれ定義し、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第1の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第2の検出端子と、

前記第5の検出子の第1の電極と、前記第6の検出子の第2の電極と、前記第7の検出子の第1の電極と、前記第8の検出子の第2の電極と、に接続しうる第3の検出端子と、

前記第5の検出子の第2の電極と、前記第6の検出子の第1の電極と、前記第7の検出子の第2の電極と、前記第8の検出子の第1の電極と、に接続しうる第4の検出端子と、

前記第9の検出子の第1の電極と、前記第10の検出子の第2の電極と、前記第11の検出子の第2の電極と、前記第12の検出子の第1の電極と、に接続しうる第5の検出端子と、

前記第9の検出子の第2の電極と、前記第10の検出子の第1の電極と、前記第11の検出子の第1の電極と、前記第12の検出子の第2の電極と、に接続しうる第6の検出端子と、

を設け、前記第1の検出端子と前記第2の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第3の検出端子と前記第4の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、前記第5の検出端子と前記第6の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項14】 板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を12組用意し、

12

可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、原点においてX、Y、Zの各軸と交わりかつ基板面に平行な方向にW軸を、それぞれ定義し、

前記12組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記12組の検出子のうち、第9の検出子をW軸の負領域の基板外側に、第10の検出子をW軸の負領域の基板内側に、第11の検出子をW軸の正領域の内側に、第12の検出子をW軸の正領域の基板外側に、それぞれW軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を前記基板に固定し、

前記原点近傍をセンサ筐体に固定し、

外部から作用する物理量に基いて発生した力を、前記基板外側の周囲部分に伝達する機能を有する作用体を形成し、

各検出子において、前記基板に固定された電極を第1の電極、もう一方の電極を第2の電極、とそれぞれ定義し、

前記第1の検出子の第1の電極と、前記第2の検出子の第2の電極と、前記第3の検出子の第1の電極と、前記第4の検出子の第2の電極と、に接続しうる第1の検出端子と、

前記第1の検出子の第2の電極と、前記第2の検出子の第1の電極と、前記第3の検出子の第2の電極と、前記第4の検出子の第1の電極と、に接続しうる第2の検出端子と、

前記第5の検出子の第1の電極と、前記第6の検出子の第2の電極と、前記第7の検出子の第1の電極と、前記第8の検出子の第2の電極と、に接続しうる第3の検出端子と、

前記第5の検出子の第2の電極と、前記第6の検出子の第1の電極と、前記第7の検出子の第2の電極と、前記第8の検出子の第1の電極と、に接続しうる第4の検出端子と、

前記第9の検出子の第1の電極と、前記第10の検出子の第2の電極と、前記第11の検出子の第2の電極と、前記第12の検出子の第1の電極と、に接続しうる第5

の検出端子と、

前記第9の検出子の第2の電極と、前記第10の検出子の第1の電極と、前記第11の検出子の第1の電極と、前記第12の検出子の第2の電極と、に接続しうる第6の検出端子と、

を設け、前記第1の検出端子と前記第2の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記X軸方向の力を検出し、前記第3の検出端子と前記第4の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Y軸方向の力を検出し、前記第5の検出端子と前記第6の検出端子との間の電位差に基づいて、前記作用体に発生した前記Z軸方向の力を検出することを特徴とする圧電素子を用いた力センサ。

【請求項15】 請求項1～14のいずれかに記載のセンサにおいて、外部から与えられる加速度に基づいて作用体に力を発生させることにより、加速度を検出するようにしたことを特徴とする圧電素子を用いた加速度センサ。

【請求項16】 請求項1～14のいずれかに記載のセンサにおいて、作用体を磁性材料で構成し、外部から与えられる磁気に基づいて作用体に力を発生させることにより、磁気を検出するようにしたことを特徴とする圧電素子を用いた磁気センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、圧電素子を用いた力・加速度・磁気のセンサ、特に、多次元の各成分ごとに力、加速度、磁気を検出することのできるセンサに関する。

【0002】

【従来の技術】 自動車産業や機械産業などでは、力、加速度、磁気といった物理量を正確に検出できるセンサの需要が高まっている。特に、二次元あるいは三次元の各成分ごとにこれらの物理量を検出する小型のセンサが望まれている。

【0003】 このような需要に応えるため、シリコンなどの半導体基板にゲージ抵抗を形成し、外部から加わる力に基づいて基板に生じる機械的な歪みを、ピエゾ抵抗効果を利用して電気信号に変換する力センサが提案されている。この力センサの検出部に、重錘体を取り付けられ、重錘体に加わる加速度を力として検出する加速度センサが実現でき、磁性体を取り付けられ、磁性体に作用する磁気を力として検出する磁気センサが実現できる。たとえば、特許協力条約に基づく国際公開第WO88/08521号公報や同第WO89/02587号公報には、上述の原理に基づくセンサが開示されている。

【0004】 また、特願平2-274299号明細書には、2枚の電極板間の静電容量の変化を利用したセンサや、2枚の電極板間に圧電素子を挟んだ構造のセンサが開示されている。これらのセンサでは、力、加速度、磁

気などの作用により、2枚の電極板の間隔に変化を生じさせ、この間隔の変化を静電容量の変化、あるいは圧電素子に発生する電荷量の変化として検出するものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 一般に、ゲージ抵抗やピエゾ抵抗係数には温度依存性があるため、上述した半導体基板を用いたセンサでは、使用する環境の温度に変動が生じると検出値が誤差を含むようになる。したがって、正確な測定を行うためには、温度補償を行う必要がある。特に、自動車などの分野で用いる場合、 -40°C ～ $+120^{\circ}\text{C}$ というかなり広い動作温度範囲について温度補償が必要になる。

【0006】 また、上述した静電容量の変化を利用したセンサは、製造コストが安価であるという利点はあるが、形成される静電容量が小さいため、信号処理がむずかしいという欠点があり、従来提案されている圧電素子を利用したセンサは、圧電素子を電極間に挟む必要があるため、製造上困難を伴うという問題がある。

【0007】 そこで本発明は、温度補償なしに高精度な検出が可能であり、しかも製造プロセスが容易な力、加速度、磁気のセンサを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

(1) 本願第1の発明は、圧電素子を用いた力センサにおいて、板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を定義し、用意した4組の検出子のうちの2組をX軸の正の側に、他の2組を負の側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を基板に固定し、基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、外部から作用する物理量に基づいて発生した力を、原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、この作用体に発生した力を、4組の検出子の各電極に発生する電荷に基づいて検出するようにしたものである。

【0009】 (2) 本願第2の発明は、上述の第1の発明に係る力センサにおいて、基板の内側（原点側）と外側（周囲部分側）との関係を逆にし、作用体で発生した力を基板外側の周囲部分に伝達するようにし、原点近傍をセンサ筐体に固定したものである。

【0010】 (3) 本願第3の発明は、圧電素子を用いた力センサにおいて、板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を4組用意し、可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ

定義し、用意した4組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、各検出子の一方の電極を基板に固定し、基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、外部から作用する物理量に基いて発生した力を、原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、各検出子において、基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、第1の検出子における電位と第3の検出子における電位との和と、第2の検出子における電位と第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したX軸方向の力を検出し、第1の検出子における電位と第4の検出子における電位との和と、第2の検出子における電位と第3の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したZ軸方向の力を検出するようにしたものである。

【0011】(4) 本願第4の発明は、上述の第3の発明に係る力センサにおいて、基板の内側(原点側)と外側(周囲部分側)との関係を逆にし、作用体で発生した力を基板外側の周囲部分に伝達するようにし、原点近傍をセンサ筐体に固定したものである。

【0012】(5) 本願第5の発明は、圧電素子を用いた力センサにおいて、板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を8組用意し、可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、それぞれ定義し、用意した8組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を基板に固定し、用意した8組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を基板に固定し、基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、外部から作用する物理量に基いて発生した力を、原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、各検出子において、基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、第1の検出子における電位と第3の検出子における電位との和と、第2の検出子における電位と第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したX軸方向の力を検出し、第5の検出子における電位と第7の検出子における電位との和と、第6の検出子における

電位と第8の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したY軸方向の力を検出し、第1の検出子における電位と第4の検出子における電位との和と、第2の検出子における電位と第3の検出子における電位との和と、の差に基づいて、あるいは、第5の検出子における電位と第8の検出子における電位との和と、第6の検出子における電位と第7の検出子における電位との和と、の差に基づいて、または、第1の検出子における電位、第4の検出子における電位、第5の検出子における電位、および第8の検出子における電位の総和と、第2の検出子における電位、第3の検出子における電位、第6の検出子における電位、および第7の検出子における電位の総和と、の差に基づいて作用体に発生したZ軸方向の力を検出するようにしたものである。

【0013】(6) 本願第6の発明は、上述の第5の発明に係る力センサにおいて、基板の内側(原点側)と外側(周囲部分側)との関係を逆にし、作用体で発生した力を基板外側の周囲部分に伝達するようにし、原点近傍をセンサ筐体に固定したものである。

【0014】(7) 本願第7の発明は、圧電素子を用いた力センサにおいて、板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される検出子を12組用意し、可撓性をもった基板内の1点に原点を定義し、この原点を通りかつ基板面に平行な方向にX軸を、原点においてX軸と直交しかつ基板面に平行な方向にY軸を、原点を通りかつ基板面に垂直な方向にZ軸を、原点においてX、Y、Zの各軸と交わりかつ基板面に平行な方向にW軸を、それぞれ定義し、用意した12組の検出子のうち、第1の検出子をX軸の負領域の基板外側に、第2の検出子をX軸の負領域の基板内側に、第3の検出子をX軸の正領域の基板内側に、第4の検出子をX軸の正領域の基板外側に、それぞれX軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を基板に固定し、用意した12組の検出子のうち、第5の検出子をY軸の負領域の基板外側に、第6の検出子をY軸の負領域の基板内側に、第7の検出子をY軸の正領域の基板内側に、第8の検出子をY軸の正領域の基板外側に、それぞれY軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を基板に固定し、用意した12組の検出子のうち、第9の検出子をW軸の負領域の基板外側に、第10の検出子をW軸の負領域の基板内側に、第11の検出子をW軸の正領域の基板内側に、第12の検出子をW軸の正領域の基板外側に、それぞれW軸に沿って並べて配置し、これら各検出子の一方の電極を基板に固定し、基板外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、外部から作用する物理量に基いて発生した力を、原点に伝達する機能を有する作用体を形成し、各検出子において、基板に固定された電極に対するもう一方の電極の電位を求め、第1の検出子における電位と第3の検出子における電位との和と、第

17

2の検出子における電位と第4の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したX軸方向の力を検出し、第5の検出子における電位と第7の検出子における電位との和と、第6の検出子における電位と第8の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したY軸方向の力を検出し、第9の検出子における電位と第12の検出子における電位との和と、第10の検出子における電位と第11の検出子における電位との和と、の差に基づいて、作用体に発生したZ軸方向の力を検出するようにしたものである。

【0015】(8) 本願第8の発明は、上述の第7の発明に係る力センサにおいて、基板の内側(原点側)と外側(周囲部分側)との関係を逆にし、作用体で発生した力を基板外側の周囲部分に伝達するようにし、原点近傍をセンサ筐体に固定したものである。

【0016】(9) 本願第9～第14の発明は、上述の第3～第8の発明に係る力センサにおいて、各検出子の所定の電極同士を接続して複数の検出端子を形成し、この検出端子間電圧により力の検出を行うようにしたものである。

【0017】(10) 本願第15の発明は、上述の力センサにおいて、外部から与えられる加速度に基づいて作用体に力を発生させることにより、加速度を検出するようにしたものである。

【0018】(11) 本願第16の発明は、上述の力センサにおいて、作用体を磁性材料で構成し、外部から与えられる磁気に基づいて作用体に力を発生させることにより、磁気を検出するようにしたものである。

【0019】

【作 用】本発明に係る力センサでは、可撓性をもった基板上に定義されたX軸に沿って、4組の検出子が配置される。これらの検出子は、一方の電極が基板に固定されている。基板の外側(周囲部分側)をセンサ筐体に固定し、内側(原点側)に力を作用させるか、逆に、基板の内側(原点側)をセンサ筐体に固定し、外側(周囲部分側)に力を作用させることにより、基板に撓みが生じ、この撓みは各検出子の圧電素子に伝達される。このため、各検出子の両電極間には、検出子が配置された位置に応じた電荷が発生する。したがって、この4組の検出子に基づく電圧により、X軸方向に関する力成分の検出を行うことができる。また、同じ4組の検出子を用いて、基板面に対して垂直なZ軸方向に関する力成分の検出も行うことができる。

【0020】基板面に平行にX軸およびY軸を定義し、これら各軸にそれぞれ4組ずつ、合計8組の検出子を配置すれば、X、Y、Zの3軸に関する力の成分検出が可能になる。また、Z軸についての検出を独立して行うようにするのであれば、更に4組の検出子を追加し、合計12組の検出子を配置すればよい。

【0021】力を作用させる作用体として、ある程度の

18

質量をもった重錘体を用いれば、加速度の検出が可能になり、磁性体を用いれば、磁気の検出が可能になる。

【0022】

【実施例】以下、本発明を図示する実施例に基づいて説明する。本発明は力センサ、加速度センサ、磁気センサのいずれにも適用可能であるが、ここでは、加速度センサに適用した例を述べることにする。

【0023】センサの基本的な構造

図1は、本発明の一実施例に係る加速度センサの上面図、図2は、その側断面図である。このセンサは、可撓性をもった円盤状の基板10を有する。本明細書では、説明の便宜を考慮して、この基板10の中心部に原点Oを定め、図の矢印方向に、それぞれX軸、Y軸、Z軸をとり、XYZ三次元座標系を定義している。XY平面は基板10の基板面に平行な平面となり、Z軸はこれに垂直な軸となる。図2は、図1に示すセンサをX軸に沿って切断した断面に相当する。

【0024】図1に示すように、基板10の上面には、扇型の圧電素子21、22、23、24が原点Oを取り囲むように配置されており、各圧電素子の上面には、それぞれ2枚ずつ上部電極が形成されている。すなわち、圧電素子21の上面には上部電極31、32が、圧電素子23の上面には上部電極33、34が、圧電素子22の上面には上部電極35、36が、圧電素子24の上面には上部電極37、38が、それぞれ形成されている。また、図1には示されていないが、各圧電素子の下面には、各上部電極31～38に対応して、これらと同一形状の下部電極41～48が形成されている。上部電極31～38と、下部電極41～48とは、それぞれ圧電素子を挟んで対向している。この様子は、図2の側断面図に明瞭に示されている。基板10の下面には、作用体50が接合されている。この作用体50は、円柱状の重錘体であり、作用した加速度に基づいて力を発生し、この力を基板10の原点O近傍に伝達する機能を有する。また、図2に示すように、基板10の周囲部分は、センサ筐体60に固着支持されている。本明細書では、この基板10の周囲部分を外側、原点Oの近傍を内側、と呼ぶことにする。結局、円盤状の基板10の外側はセンサ筐体60によって固定されており、内側は自由な状態となっている。

【0025】基板10は可撓性をもった基板であれば、どのような材質のものを用いてもかまわない。ガラス、セラミックス、樹脂のような絶縁体で構成してもよいし、金属のような導体で構成してもよいし。ただし、導体で構成した場合には、下部電極41～48を互いに電氣的に独立させるために、基板10上面には絶縁層を形成しておく必要がある。ここでは、絶縁体で構成した場合を例にとって説明する。また、圧電素子21～24としては、この実施例では、圧電セラミックを用いている。各電極31～38、41～48は、導体であればど

のような材質で構成してもかまわない。また、作用体50は、重錘体として機能すればよいので、どのような材質を用いることも可能であるが、検出感度を高めるためには、十分な質量が必要であり、密度の高い材質を用いるのが好ましい。この実施例では、基板10と作用体50とを別体として構成しているが、これは各部の機能を説明するための便宜であり、実際には、基板10と作用体50とは同じ材質を用いて一体のものとして形成してもかまわない。

【0026】このセンサの製造プロセスは、非常に簡単である。4つの扇型の圧電素子21~24の両面に、各電極31~38、41~48を形成し（たとえば、金属を蒸着すればよい）、このサンドイッチ状になった素子を基板10の所定位置に配置し、下部電極41~48の下面を基板10の上面に接着剤などで固着すればよい。あるいは、基板10上に下部電極41~48を形成し、その上に圧電セラミックを焼結形成し、その上に上部電極31~38を形成してもよい。

【0027】さて、このセンサの動作を考える上では、この構造は次のように理解できる。いま、板状の圧電素子と、この圧電素子の上面に形成された上部電極と、この圧電素子の下面に形成された下部電極と、によって構成される素子を、「1組の検出子」と呼ぶことにする。すると、この実施例のセンサは、8組の検出子を基板10上に配置したものであるということが出来る。すなわち、図のX軸方向に沿って左から右へ、圧電素子21、電極31、41によって構成される第1の検出子D1、圧電素子21、電極32、42によって構成される第2の検出子D2、圧電素子23、電極33、43によって構成される第3の検出子D3、圧電素子23、電極34、44によって構成される第4の検出子D4、の順に配置されている。一方、図のY軸方向に沿って上から下へ、圧電素子22、電極35、45によって構成される第5の検出子D5、圧電素子22、電極36、46によって構成される第6の検出子D6、圧電素子24、電極37、47によって構成される第7の検出子D7、圧電素子24、電極38、48によって構成される第8の検出子D8、の順に配置されている。

【0028】加速度が作用したときに生じる現象

さて、上述の加速度センサに、加速度が作用した場合に、どのような現象が起こるかを検討してみる。いま、作用体50にX軸方向の加速度が作用したとすると、図3に示すように、作用体50の重心GにX軸方向の力 F_x （作用体50の質量に比例した大きさをもつ）が発生することになる。この力 F_x により、原点Oには図3における反時計回りのモーメント力が生じ、基板10の外側（周囲部分）が固定されているため、基板10は図のように撓む。この撓みは、そのまま圧電素子および各電極へと伝達され、ある部分は伸び、ある部分は縮む変形が生じる（図では、この伸び縮みを誇張して示してあ

る）。このような撓みにより、各電極には、図3に示すような極性の電荷が発生することが知られている。すなわち、電極31、42、33、44には正電荷が発生し、電極41、32、43、34には負電荷が発生する。なお、圧電素子のこのような性質は、たとえば、

「Development of Acceleration Sensor and Acceleration Evaluation System for Super Low Range Frequency (pp37-49, No.910273, Sensors & Actuators1991)」に論じられている。このように、X軸方向の力 F_x が作用すると、X軸に沿って配置された検出子D1~D4における上下両電極間に電荷が発生する。これに対し、Y軸に沿って配置された検出子D5~D8における上下両電極間には電荷は発生しない。これは、図1に示すように、検出子D5~D8は、X軸の正の領域と負の領域とに跨がって配置されているため、一方の片側部分で発生した電荷が他方の片側部分で発生した電荷によって相殺されてしまい、全体としては電荷は発生しないのである。

【0029】一方、作用体50にY軸方向の加速度が作用したとすると、作用体50の重心GにY軸方向の力 F_y が発生する。この場合にも、全く同様の現象が起こることが理解できよう。ただし、今度は、Y軸に沿って配置された検出子D5~D8における上下両電極間に電荷が発生し、検出子D1~D4における上下両電極間には電荷は発生しない。

【0030】次に、作用体50にZ軸方向の加速度が作用したとすると、作用体50の重心GにZ軸方向の力 F_z が作用する。この力 F_z により、図4に示すように、原点Oは図の下方へ向かって引っ張られ、基板10が図のように撓む。この撓みによる圧電素子の変形は、各電極に、図4に示すような極性の電荷を発生させる。すなわち、電極31、42、43、34には正電荷が発生し、電極41、32、33、44には負電荷が発生する。

【0031】このように、作用体50にX、Y、Z軸方向の加速度が作用すると、それぞれの場合によって各検出子に特有の態様で電荷が発生することになる。しかも、発生する電荷量は作用した加速度の大きさに関連した量となり、発生する電荷の極性は作用した加速度の向きに応じて決まるものとなる。たとえば、図3において、重心GにX軸負方向の力 $-F_x$ が作用すると、各電極に発生する電荷の符号は逆転する。同様に、図4において、重心GにZ軸負方向の力 $-F_z$ が作用すると、各電極に発生する電荷の符号は逆転する。結局、各検出子に発生する電荷を検出することにより、X、Y、Z各軸方向の加速度を独立して検出することが出来ることになる。これが、本発明の基本原則である。

【0032】加速度の検出回路

続いて、前述した加速度センサを用いて、実際に加速度の検出を行うための検出回路について述べる。図5(a)、

(b) はX軸方向の力 F_x を検出するための検出回路を示す回路図である。ここで、D1～D4は、X軸上に配された各検出子を示し、回路図中には、この各検出子の上部電極および下部電極についての配線を示す。X軸方向の力 F_x （すなわち、X軸方向の加速度）は、端子A x およびB x の間の電圧 V_x を測定することにより検出できる。

【0033】図6は、作用体50に各軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z が作用したときに各電極に発生する電荷の極性を示す表である。たとえば、この表の F_x の欄の極性符号は、図3に示す各電極に示した符号に対応し、電極欄に記載の電極の符号は、図5(a)の回路図の順に並べてある。この表の F_x の欄を参照すると、図5(a)、(b)の回路図において、各検出子の端子A x 側の電極には負の電荷が発生し、端子B x 側の電極には正の電荷が発生することがわかる。例えば、図5(b)の回路では、各電極で発生する電荷量をそれぞれ±1として数えれば、端子A x には-4の電荷が、端子B x には+4の電荷が、それぞれ集まることになる。逆に、- F_x の力が作用した場合には、極性が反転し、端子A x には+4の電荷が、端子B x には-4の電荷が、それぞれ集まることになる。同様に、図5(a)の回路では、+ F_x の力が作用した場合には、端子A x には-1の電荷が、端子B x には+1の電荷が、それぞれ集まることになる。逆に、- F_x の力が作用した場合には、極性が反転し、端子A x には+1の電荷が、端子B x には-1の電荷が、それぞれ集まることになる。結局、端子A x およびB x の間の電圧 V_x は、X軸方向の力 F_x に対応した値となる。

【0034】ここで、Y軸方向の力 F_y が作用した場合に、電圧 V_x としてどのような値が出力されるかを考えてみる。図6の表の F_y の欄に示すように、力 F_y が作用した場合には、各電極に電荷は発生しない。これは前述したように、検出子D1～D4はX軸に沿って配置されているため、Y軸方向の力 F_y が作用すると、部分的に発生した正および負の電荷が互いに相殺されるためである。したがって、電圧 V_x はY軸方向の力 F_y には何ら影響されない。

【0035】次に、Z軸方向の力 F_z が作用した場合に、電圧 V_x としてどのような値が出力されるかを考えてみる。図6の表の F_z の欄の極性符号は、図4に示す各電極に示した符号に対応する。このような電荷を発生する各電極が、図5(a)、(b)に示すように配線されていることを考えると、やはり正および負の電荷が互いに相殺され、力 F_z だけが作用した場合の電圧値 V_x は0になる。したがって、電圧 V_x はZ軸方向の力 F_z には何ら影響されない。

【0036】以上のことから、作用体50に三次元の力 F が作用した場合、そのX軸方向成分 F_x だけが電圧 V_x として検出されることになり、この検出値はY軸方向成分 F_y およびZ軸方向成分 F_z の影響を受けることが

ない。

【0037】図7(a)、(b)はY軸方向の力 F_y を検出するための検出回路を示す回路図である。ここで、D5～D8は、Y軸上に配された各検出子を示し、回路図中には、この各検出子の上部電極および下部電極についての配線を示す。Y軸方向の力 F_y （すなわち、Y軸方向の加速度）は、端子A y およびB y の間の電圧 V_y を測定することにより検出できる。

【0038】図8は、作用体50に各軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z が作用したときに各電極に発生する電荷の極性を示す表である。電極欄に記載の電極の符号は、図7(a)の回路図の順に並べてある。この表から、電圧 V_y はY軸方向の力 F_y の大きさおよび方向によってのみ決まる値であることがわかる。結局、作用体50に三次元の力 F が作用した場合、そのY軸方向成分 F_y だけが電圧 V_y として検出されることになり、この検出値はX軸方向成分 F_x およびZ軸方向成分 F_z の影響を受けない。

【0039】図9(a)、(b)はZ軸方向の力 F_z を検出するための検出回路を示す回路図である。ここで、D1～D4は、X軸上に配された各検出子を示し、回路図中には、この各検出子の上部電極および下部電極についての配線を示す。Z軸方向の力 F_z （すなわち、Z軸方向の加速度）は、端子A z およびB z の間の電圧 V_z を測定することにより検出できる。

【0040】図10は、作用体50に各軸方向の力 F_x 、 F_y 、 F_z が作用したときに各電極に発生する電荷の極性を示す表である。電極欄に記載の電極の符号は、図9(a)の回路図の順に並べてある。この表から、電圧 V_z はZ軸方向の力 F_z の大きさおよび方向によってのみ決まる値であることがわかる。結局、作用体50に三次元の力 F が作用した場合、そのZ軸方向成分 F_z だけが電圧 V_z として検出されることになり、この検出値はX軸方向成分 F_x およびY軸方向成分 F_y の影響を受けない。

【0041】以上のように、X軸方向に沿って配置した4つの検出子D1～D4によって、X軸方向の力 F_x とZ軸方向の力 F_z とが検出でき、Y軸方向に沿って配置した4つの検出子D5～D8によって、Z軸方向の力 F_z が検出できる。結局、検出子D1～D4は、X軸方向の検出とY軸方向の検出とに共用される。このような共用を可能にするための回路を図11(a)、(b)に示す。図11(a)の回路は、4つのスイッチS1～S4を用いた切換回路を構成しており、X軸方向成分は共通端子A x とX軸用端子B x との間の電圧 V_x によって検出され、Z軸方向成分は共通端子A x とZ軸用端子B z との間の電圧 V_z によって検出される。スイッチS1とS2とは連動しており、一方がONになると他方がOFFとなる。同様に、スイッチS3とS4とは連動しており、一方がONになると他方がOFFとなる。図に示す

ように、スイッチS1をON、スイッチS2をOFF、スイッチS3をOFF、スイッチS4をONの状態にすると、この回路は図5(a)に示すX軸方向成分の検出回路と等価になる。また、各スイッチを切り換え、スイッチS1をOFF、スイッチS2をON、スイッチS3をON、スイッチS4をOFFの状態にすると、この回路は図7(a)に示すZ軸方向成分の検出回路と等価になる。図11(b)の回路も同様に、4つのスイッチS1～S4の操作により、X軸方向成分の検出とZ軸方向成分の検出とを切り換えることができる。図に示すように、スイッチS1をOFF、スイッチS2をON、スイッチS3をON、スイッチS4をOFFの状態にすると、この回路は図5(b)に示すX軸方向成分の検出回路と等価になる。また、各スイッチを切り換え、スイッチS1をON、スイッチS2をOFF、スイッチS3をOFF、スイッチS4をONの状態にすると、この回路は図7(b)に示すZ軸方向成分の検出回路と等価になる。

【0042】なお、Z軸方向の力 F_z の検出は、検出子D1～D4の代わりに検出子D5～D8を用いても行うことができる。この場合は、検出子D5～D8が、Y軸方向の検出とZ軸方向の検出とに共用されることになる。また、8個の検出子D1～D8のすべてを用いてZ軸方向の力 F_z を検出してもよい。この場合は、図12または図13のような検出回路を組めばよい。

【0043】ここで、このセンサの温度特性について述べておく。圧電素子は急激な温度変化に対して電極間に電荷を生じる性質をもち、いわゆるパイロ効果を示す素子である(前掲文献Fig. 16参照)。本発明によるセンサでは、X、Y、Zの各軸方向の検出値は、各検出子によって得られる電圧の差に基づいて算出されるため、温度の影響は相殺されることになる。したがって温度補償のための回路などを付加する必要はない。

【0044】センサの別な実施例

続いて、本発明による加速度センサの別な構造を示す。図14は、この別な構造をもったセンサの側断面図、図15はその上面図である。図15に示すセンサをX軸に沿って切断した断面が図14に対応する。なお、図14の側断面図では、図が繁雑になるのを避けるため、断面部分だけを示してある。図1および図2に示すセンサとの違いは、各検出子ごとに独立した圧電素子を設けた点である。すなわち、図1および図2に示すセンサでは、検出子D1およびD2には共通の圧電素子21が用いられ、検出子D3およびD4には共通の圧電素子23が用いられ、検出子D5およびD6には共通の圧電素子22が用いられ、検出子D7およびD8には共通の圧電素子24が用いられていた。これに対して、図14および図15に示すセンサでは、8個の圧電素子21a、21b、22a、22b、23a、23b、24a、24bを設け、各検出子D1～D8が物理的に完全に独立した部品によって構成されるようにしている。

【0045】本発明では、各検出子の電極が他の検出子の電極に対して独立していれば、理論的には、圧電素子は各検出子間で共通のものにしても差支えない。極端な例では、図16に示すように大きな円盤状の圧電素子を1枚だけ用意し、8組の検出子をこの1枚の圧電素子を共用して構成することもできる。ただ、実際には、圧電素子内で電荷の再結合が生じるため、低周波数の振動を精密に測定するためには、図14および図15に示す実施例のように、各検出子ごとに独立した圧電素子を用いるようにするのが好ましい。ただ、製造プロセスはそれだけ複雑になる。

【0046】図17は、本発明による加速度センサの更に別な構造を示す側断面図である。この側断面図においても、図が繁雑になるのを避けるため、断面部分だけを示してある。前述した各実施例では、基板10の上面に検出子を配置していたが、この実施例では、基板10の下面に検出子を配置している。本発明によるセンサでは、要するに、X軸に沿って4つの検出子D1～D4を配置し、Y軸に沿って4つの検出子D5～D8を配置することができれば、基板10の上面に配置しようが、下面に配置しようが、どちらでもかまわない。また、ある検出子は上面に、ある検出子は下面に、と上下入り乱れて配置してもかまわないし、上下両面に配置してもかまわない。ただし、正しい検出を行うためには、各電極に発生する電荷の極性を考え、電極間の配線を適切なものにする必要がある。

【0047】上述の実施例では、8組の検出子を用いて、三次元の各軸方向成分を検出しているが、より多数の検出子を用いて同様の検出を行ってもかまわない。図18に上面図を示す実施例は、16組の検出子D1～D16を用いた例である。ここで、検出子D1～D8は、図1に示す検出子D1～D8と同等(面積が若干小さくなっている)のものであり、X軸に沿って検出子D1～D4が、Y軸に沿って検出子D5～D8が、それぞれ配置されている。この実施例では、更に、XY平面上において、X軸に対して 45° の角度をもったW1軸と 135° の角度をもったW2軸とを定義し、W1軸に沿って検出子D9～D12を、W2軸に沿って検出子D13～D16を、それぞれ配置している。

【0048】このような配置を行えば、検出子D1～D4によってX軸方向の力を検出し、検出子D5～D8によってY軸方向の力を検出し、検出子D9～D12または検出子D13～16、あるいは検出子D9～D16によってZ軸方向の力を検出することができる。したがって、X、Y、Z軸方向の力の検出を、完全に独立別個の検出子によって行うことができる。もっとも、基板10の基板面に垂直なZ軸方向に関しては、基板面に平行ないずれの軸に沿って配置した検出子を用いても検出が可能である。すなわち、X軸に沿って配置した検出子D1～D4、Y軸に沿って配置した検出子D5～D8、W1

軸に沿って配置した検出子D9~D12、W2軸に沿って配置した検出子D13~D16、のいずれを用いても、Z軸方向の力検出が可能である。また、ここで用いる圧電素子は、図16に示すように単一の基板で構成されたものであってもよい。

【0049】いままで述べてきた実施例では、いずれも、基板10の外側の周囲部分をセンサ筐体に固定し、内側の原点O近傍に作用体50を形成していたが、この基板の内側と外側との関係を全く逆にすることも可能である。すなわち、図19に側断面図を示す実施例のように、基板10の内側の原点O近傍の作用体50（ここでは、作用体としての機能は失われ、単なる台座として用いられている）をセンサ筐体61に固定し、基板10の外側の周囲部分に新たな作用体51を形成してもよい。この実施例では、作用体51は、円盤状の基板10の外周に沿って取り付けられたリング状の重錘体となっている。このような構成では、基板10の内側が固定され、外側に力が作用するようになるが、作用した力に基づいて基板10に撓みが生じることに変わりはなく、前述の各実施例のいずれについても、このように基板の内外を逆にした構造を適用することができる。

【0050】検出回路の別な実施例

図5に示す回路のもつ意味をもう少し検討してみる。いま、各検出子において、力に基づいて発生する電荷を符号を考慮した電位に変換して考える。すなわち、基板に固着された方の電極（図1の例では、下部電極41~48）に対するもう一方の電極の電位をその検出子における電位と定義する。別言すれば、基板に固着された方の電極を接地したとき、もう一方の電極に現れる電圧値がその検出子における電位となる。ここで、図5(a), (b)に示す回路を参照すると、検出子D1とD3については、基板に固着された方の電極41、43が端子Ax側に接続され、検出子D2とD4については、基板に固着された方の電極42、44が端子Bx側に接続されていることがわかる。すなわち、検出子D1、D3と検出子D2、D4とは逆方向に接続されていることになる。結局、検出子D1における電位と検出子D3における電位との和と、検出子D2における電位と検出子D4における電位との和と、の差が、端子Ax、Bx間に現れる電圧Vxであることがわかる。すなわち、検出子D1、D2、D3、D4によって得られる電位を、それぞれV1、V2、V3、V4とすれば、 $V_x = (V_1 + V_3) - (V_2 + V_4)$ である。したがって、図20に示すように、これらの電圧V1、V2、V3、V4を検出するための電圧検出器81、82、83、84を設ければ、差動増幅器AP1の出力として、電圧Vxを得ることができる。

【0051】また、図7(a), (b)に示す回路を参照すると、検出子D5とD7については、基板に固着された方の電極45、47が端子Ay側に接続され、検出子D6

とD8については、基板に固着された方の電極46、48が端子By側に接続されていることがわかる。すなわち、検出子D5、D7と検出子D6、D8とは逆方向に接続されていることになる。結局、検出子D5における電位と検出子D7における電位との和と、検出子D6における電位と検出子D8における電位との和と、の差が、端子Ay、By間に現れる電圧Vyであることがわかる。すなわち、検出子D5、D6、D7、D8における電位を、それぞれV5、V6、V7、V8とすれば、 $V_y = (V_5 + V_7) - (V_6 + V_8)$ である。したがって、図20に示すように、これらの電圧V5、V6、V7、V8を検出するための電圧検出器85、86、87、88を設ければ、差動増幅器AP3の出力として、電圧Vyを得ることができる。

【0052】更に、図9(a), (b)に示す回路を参照すると、検出子D1とD4については、基板に固着された方の電極41、44が端子Az側に接続され、検出子D2とD3については、基板に固着された方の電極42、43が端子Bz側に接続されていることがわかる。すなわち、検出子D1、D4と検出子D2、D3とは逆方向に接続されていることになる。結局、検出子D1における電位と検出子D4における電位との和と、検出子D2における電位と検出子D3における電位との和と、の差が、端子Az、Bz間に現れる電圧Vzであることがわかる。すなわち、検出子D1、D2、D3、D4における電位を、それぞれV1、V2、V3、V4とすれば、 $V_z = (V_1 + V_4) - (V_2 + V_3)$ である。したがって、図20に示すように、電圧検出器81、82、83、84を用いて、差動増幅器AP2の出力として、電圧Vzを得ることができる。

【0053】また、図18に示す16組の検出子を用いたセンサでは、電圧Vzについては、図21に示す回路によって検出ができる。すなわち、検出子D9~D16における電位V9~V16を、電圧検出器91~98によって検出し、差動増幅器AP4の出力として電圧Vzを得ることができる。この場合、図20に示す差動増幅器AP2は不要となり、X、Y、Zの各軸方向成分が完全に別個独立した回路で検出できることになる。なお、図21に示す回路では、電位V9~V16のすべてを用いているが、電位V9~V12の4つだけ、あるいは、電位V13~V16の4つだけを用いるようにしてもかまわない。ただ、精度良い測定を行うためには、電位V9~V16のすべてを用いるのが好ましい。

【0054】更に別な実施例

以上、本発明をいくつかの実施例に基づいて説明したが、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではなく、この他にも種々の態様で実施可能である。たとえば、上述の実施例では、8組あるいは16組の検出子を用いて三次元の各軸方向成分の加速度検出を行っているが、4組の検出子だけを用いて二次元の各軸方向成分の

27

加速度検出を行うようにすることも可能である。たとえば、検出子D1～D4だけを用いれば、X軸方向成分とZ軸方向成分との検出が可能である。

【0055】また、上述の実施例は、いずれも加速度センサに本発明を適用したものであるが、本発明は力センサや磁気センサにも適用可能である。たとえば、力センサとして用いるのであれば、作用体50から接触子を伸ばし、この接触子によって外力を基板10に伝達するようにすればよい。また、磁気センサとして用いるのであれば、作用体50を、鉄、コバルト、ニッケルといった磁性体で構成すれば、磁気的作用により発生した力を検出することにより、間接的に磁気を検出することが可能である。

【0056】

【発明の効果】以上のとおり本発明によるセンサによれば、板状の圧電素子とこの圧電素子の両面に形成された一対の電極とによって構成される検出子を複数用意し、可撓性の基板上の所定位置にこの検出子を配置し、各電極間に生じる電圧値に基づいて、作用した力、加速度、磁気を検出するようにしたため、温度補償なしに高精度な検出が可能であり、しかも製造プロセスも容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る加速度センサの上面図である。

【図2】図1に示す加速度センサをX軸に沿って切断した側断面図である。

【図3】図1に示す加速度センサにおける作用体50の重心GにX軸方向の力F_xが与えられたときの状態を示す側断面図である。

【図4】図1に示す加速度センサにおける作用体50の重心GにZ軸方向の力F_zが与えられたときの状態を示す側断面図である。

【図5】図1に示す加速度センサにおいて、X軸方向の力F_xを検出するための検出回路を示す回路図である。

【図6】図5に示す回路の動作を説明する表である。

【図7】図1に示す加速度センサにおいて、Y軸方向の力F_yを検出するための検出回路を示す回路図である。

【図8】図7に示す回路の動作を説明する表である。

【図9】図1に示す加速度センサにおいて、Z軸方向の

28

力F_zを検出するための検出回路を示す回路図である。

【図10】図9に示す回路の動作を説明する表である。

【図11】図1に示す加速度センサにおいて、X軸方向の力F_xの検出と、Z軸方向の力F_zの検出との共用を可能にする検出回路を示す回路図である。

【図12】図1に示す加速度センサにおいて、Z軸方向の力F_zを検出するための別な検出回路を示す回路図である。

【図13】図1に示す加速度センサにおいて、Z軸方向の力F_zを検出するための更に別な検出回路を示す回路図である。

【図14】本発明の別な一実施例に係る加速度センサの側断面図であり、断面部分のみを示す。

【図15】図14に示す加速度センサの上面図である。

【図16】円盤状の圧電素子を1枚だけ用いて構成した加速度センサの実施例を示す上面図である。

【図17】本発明の更に別な一実施例に係る加速度センサの側断面図であり、断面部分のみを示す。

【図18】16組の検出子を用いた本発明の一実施例に係る加速度センサの上面図である。

【図19】基板の内側を固定した本発明の一実施例に係る加速度センサの側断面図である。

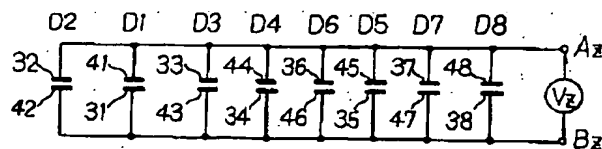
【図20】図1に示す加速度センサに用いる別な検出回路を示す回路図である。

【図21】図15に示す加速度センサに用いるZ軸方向についての検出回路を示す回路図である。

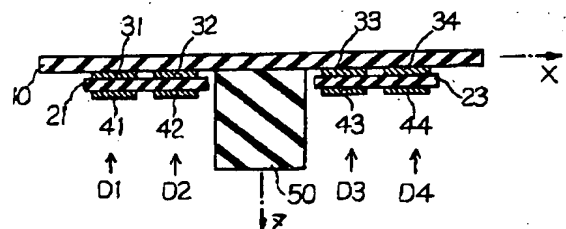
【符号の説明】

10…可撓性をもった基板
21～25…圧電素子
31～38…上部電極
41～48…下部電極
50, 51…作用体（重錘体）
60, 61…センサ筐体
81～88…電圧検出器
91～98…電圧検出器
AP1～AP4…差動増幅器
D1～D16…検出子
G…重心
O…原点
S1～S4…スイッチ

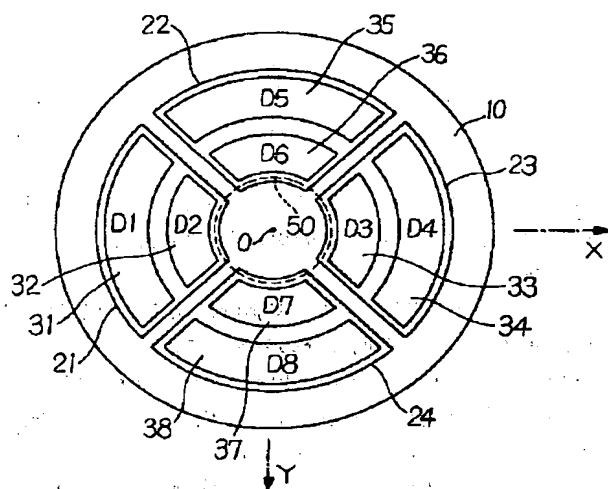
【図13】



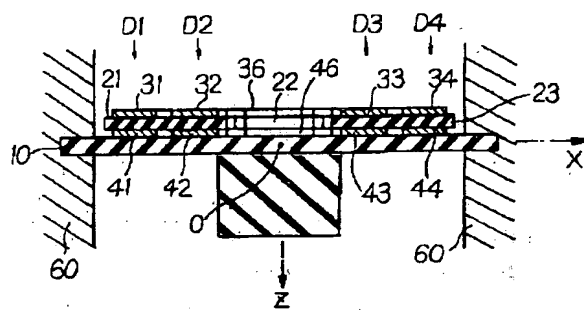
【図17】



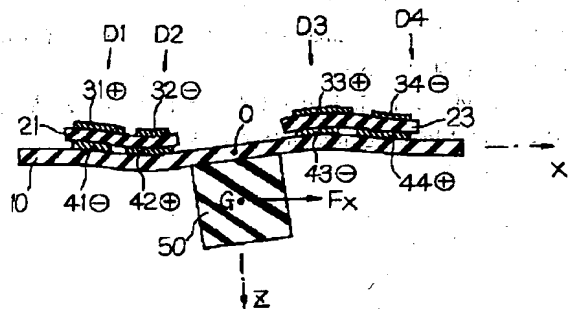
【図 1】



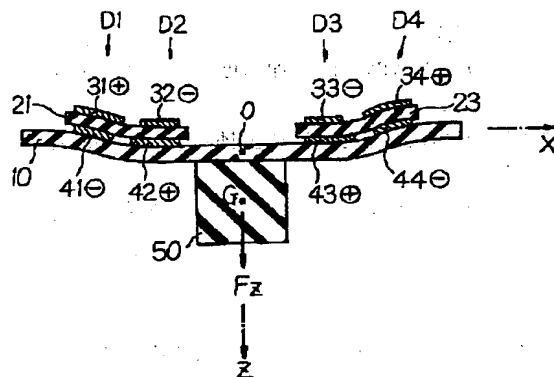
【図 2】



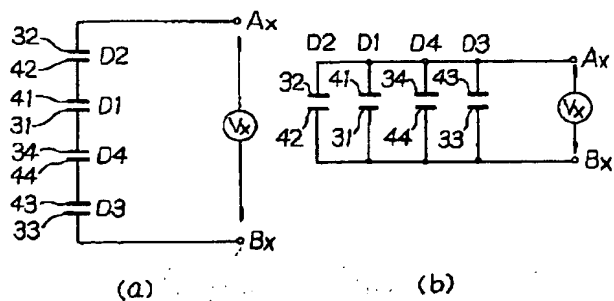
【図 3】



【図 4】



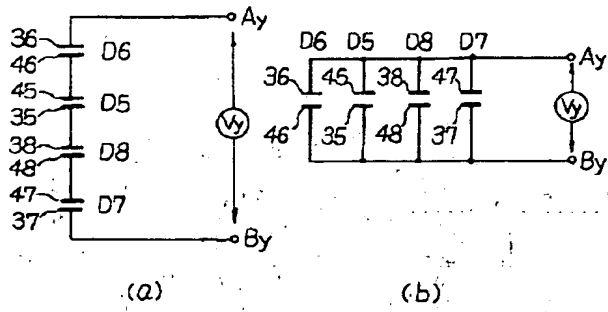
【図 5】



【図 6】

電極	F_x	F_y	F_z
32	-	0	-
42	+	0	+
41	-	0	-
31	+	0	+
34	-	0	+
44	+	0	-
43	-	0	+
33	+	0	-

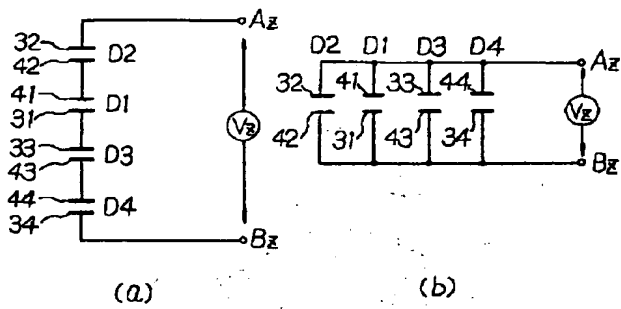
【図7】



【図8】

電極	F_x	F_y	F_z
36	0	-	-
46	0	+	+
45	0	-	-
35	0	+	+
38	0	-	+
48	0	+	-
47	0	-	+
37	0	+	-

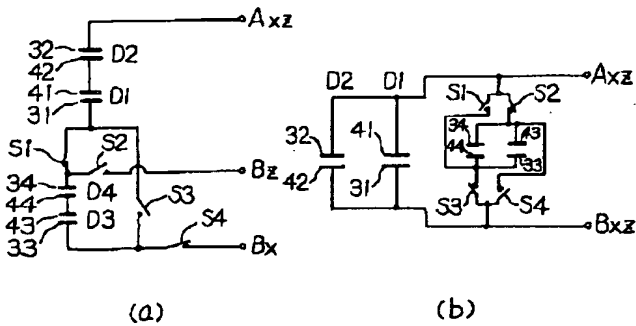
【図9】



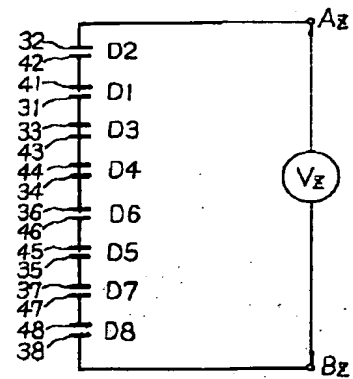
【図10】

電極	F_x	F_y	F_z
32	-	0	-
42	+	0	+
41	-	0	-
31	+	0	+
33	+	0	-
43	-	0	+
44	+	0	-
34	-	0	+

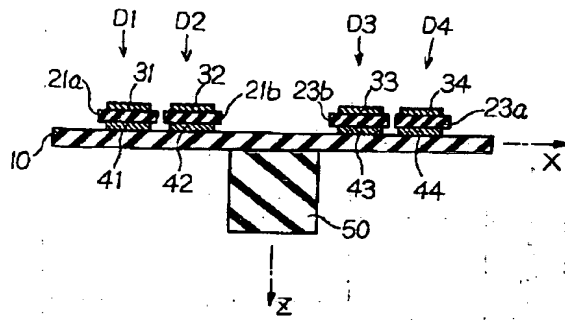
【図11】



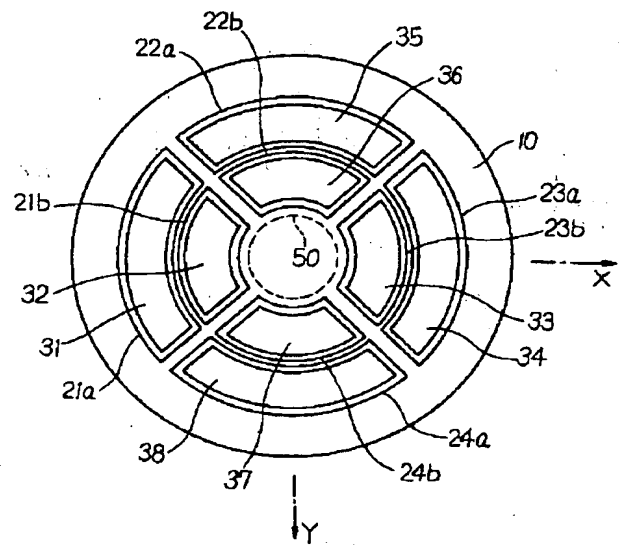
【図12】



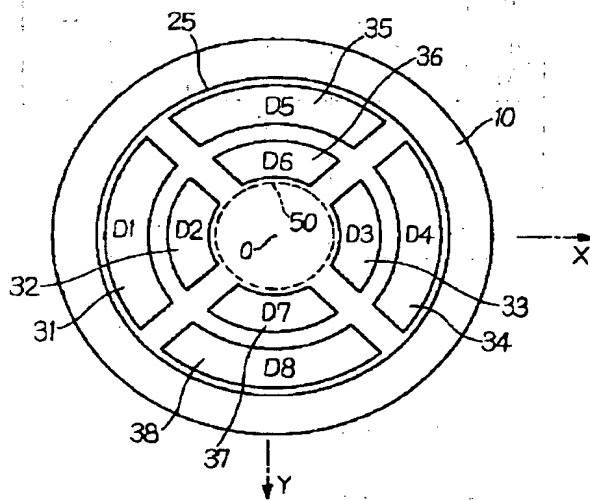
【図14】



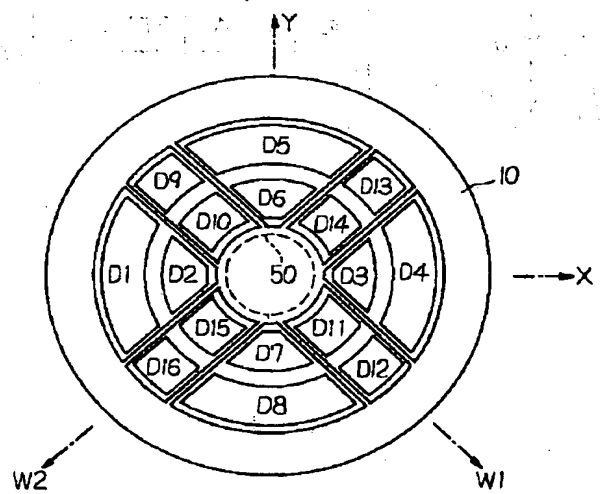
【図15】



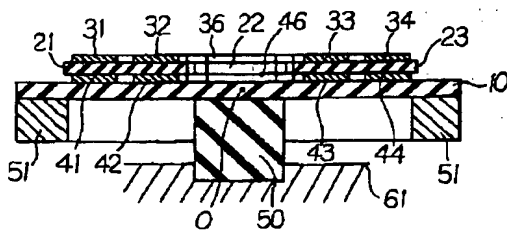
【図16】



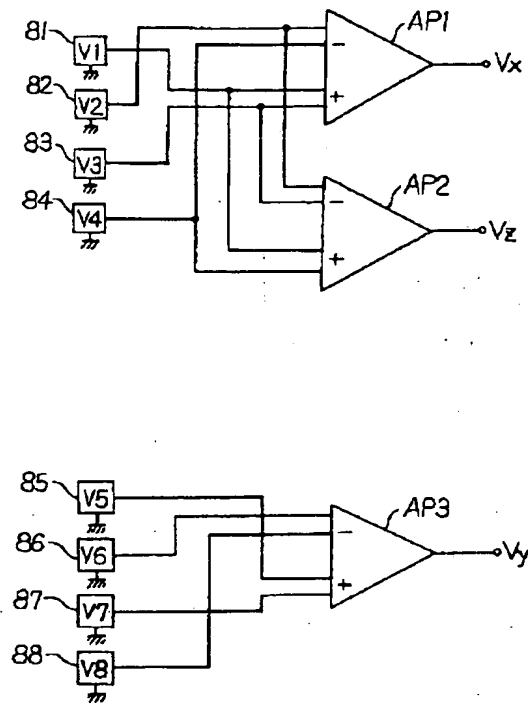
【図18】



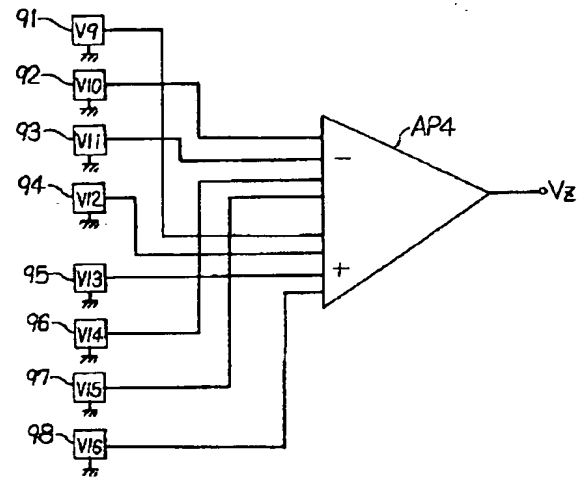
【図19】



【図20】



【図21】



【手続補正書】

【提出日】平成4年6月16日

【手続補正1】

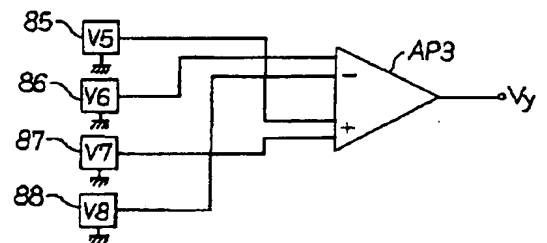
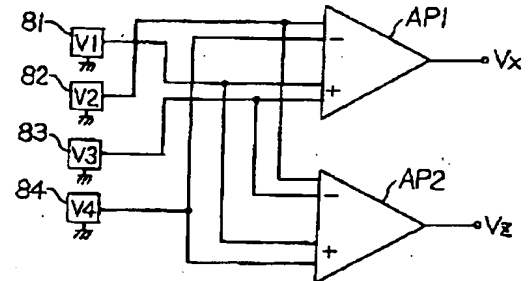
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図20

【補正方法】変更

【補正内容】

【図20】



【手続補正2】

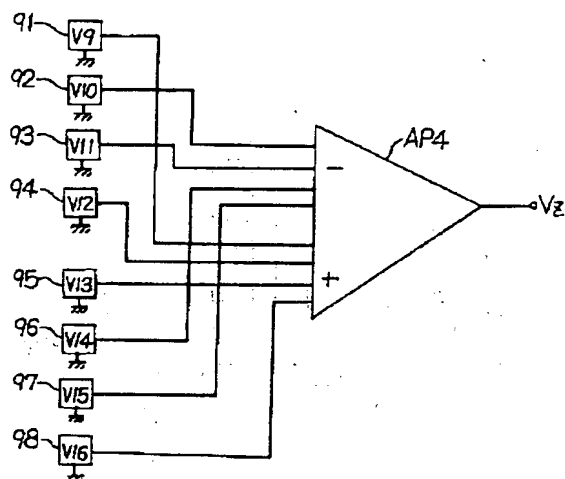
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図21

【補正方法】変更

【補正内容】

【図21】



【手続補正書】

【提出日】平成4年7月15日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】 以上のように、X軸方向に沿って配置した4つの検出子D1～D4によって、X軸方向の力 F_x とZ軸方向の力 F_z とが検出でき、Y軸方向に沿って配置した4つの検出子D5～D8によって、Y軸方向の力 F_y が検出できる。結局、検出子D1～D4は、X軸方向の検出とZ軸方向の検出とに共用される。このような共用を可能にするための回路を図11(a)、(b)に示す。図11(a)の回路は、4つのスイッチS1～S4を用いた切換回路を構成しており、X軸方向成分は共通端子A_{xz}とX軸用端子B_xとの間の電圧 V_x によって検出され、Z軸方向成分は共通端子A_{xz}とZ軸用端子B_zとの間の電圧 V_z によって検出される。スイッチS1とS2とは連動しており、一方がONになると他方がOFFとなる。同様に、スイッチS3とS4とは連動しており、一方がONになると他方がOFFとなる。図に示すように、スイッチS1をON、スイッチS2をOFF、スイッチS3をOFF、スイッチS4をONの状態にすると、この回路は図5(a)に示すX軸方向成分の検出回路と等価になる。また、各スイッチを切り換え、スイッチS1をOFF、スイッチS2をON、スイッチS3をON、スイッチS4をOFFの状態にすると、この回路は図7(a)に示すZ軸方向成分の検出回路と等価になる。図11(b)の回路も同様に、4つのスイッチS1～S4の操作により、X軸方向成分の検出とZ軸方向成分の検出とを切り換えることができる。図に示すように、スイッチS1をOFF、スイッチS2をON、スイッチS3をON、スイッチS4をOFFの状態にすると、こ

の回路は図5(b)に示すX軸方向成分の検出回路と等価になる。また、各スイッチを切り換え、スイッチS1をON、スイッチS2をOFF、スイッチS3をOFF、スイッチS4をONの状態にすると、この回路は図7(b)に示すZ軸方向成分の検出回路と等価になる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

【0048】 このような配置を行えば、検出子D1～D4によってX軸方向の力を検出し、検出子D5～D8によってY軸方向の力を検出し、検出子D9～D12または検出子D13～D16、あるいは検出子D9～D16によってZ軸方向の力を検出することができる。したがって、X、Y、Z軸方向の力の検出を、完全に独立別個の検出子によって行うことができる。もっとも、基板10の基板面に垂直なZ軸方向に関しては、基板面に平行ないずれの軸に沿って配置した検出子を用いても検出が可能である。すなわち、X軸に沿って配置した検出子D1～D4、Y軸に沿って配置した検出子D5～D8、W1軸に沿って配置した検出子D9～D12、W2軸に沿って配置した検出子D13～D16、のいずれを用いても、Z軸方向の力検出が可能である。また、ここで用いる圧電素子は、図16に示すように単一の基板25で構成されたものであってもよい。

【手続補正3】

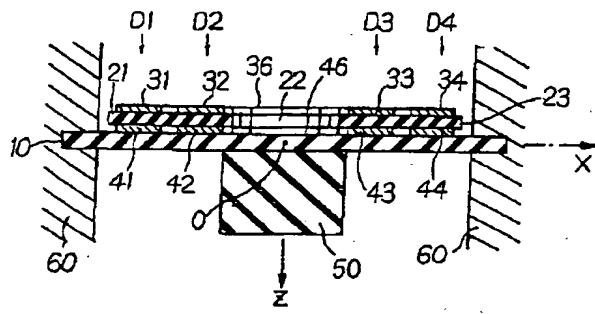
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正内容】

【図2】



THIS PAGE BLANK (USPTO)